

热打印头的失效机理与寿命分析*

张生才** 申云琴 姚素英

(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)

【摘要】在对热印头进行高温存储实验、震动实验、脉冲加热实验和实际打印实验的基础上，总结出热印头失效的五种模式，并分析了各种模式的失效原因；论述了提高热印头寿命的措施。

关键词 薄膜热印头；热打印机；失效机理；寿命

中图分类号 TM241.2； TP202.1

热敏打印技术是一种非撞击式打印技术，具有速度快、分辨率高、功耗低、无异味、噪声小、结构简单、便于维修保养等特点，广泛应用于数据处理终端及传真机等设备。热敏打印机的关键部件之一是热打印头，热打印头的发热像素点主要由若干个电阻构成。在工作时，当有热脉冲信号加到电阻体两端时，电阻体温度迅速上升到300~400℃，并将其产生的焦耳热迅速传递给紧贴热印头的热敏纸，使热敏纸相应位置受热而变色，从而打印出所要求的文字或图像。随着信息技术的快速发展，要求热打印机具有更快的打印速度、更好的打印质量和全色打印功能，这就要求热印头的像素点密度高，热响应速度快，性能稳定可靠。所以，热印头的使用寿命决定了其实际应用价值，定量地估测出热印头的寿命非常必要。本文在进行了大量的寿命测试实验的同时，分析了引起热印头失效的基本原因，讨论了进一步提高热印头使用寿命的一些措施。

1 Ta₂N 薄膜热印头的结构^[1,2]

根据热印头的工作特点和技术要求，我们研制出含24个 Ta₂N 薄膜电阻的文字处理机热印头和2 048个 Ta₂N 薄膜电阻的传真机热印头，其单点结构如图1所示。

基板采用热性能良好的(0.21 J/cm.S)Al₂O₃陶瓷，可有效克服热印头的热积累，提高打印清晰度。在陶瓷基板上采用热烧结方法烧制

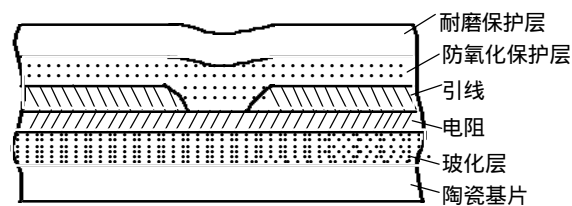


图1 薄膜热印头单点剖面图

50~70 μm 厚的玻璃釉层，一是解决陶瓷基板的表面平整度，以便制作良好的 Ta₂N 电阻体；其次是解决热阻体之间的热隔离，提高热响应速度和打印质量，减小功率损耗，提高热印头的使用寿命。釉层采用溅射的方法制作 Ta₂N 薄膜电阻，适量控制溅射条件，可获得耐热性能好、稳定性高的 Ta₂N 结晶结构。电阻体采用 SiO₂和 Ta₂O₅双层保护，SiO₂层致密性好，可防止氧和水汽的浸入，有效地防止电阻的热氧化；Ta₂O₅耐高温、抗腐蚀、坚硬耐磨，可大大提高热印头的使用寿命。

2 寿命实验

2.1 高温存储实验

把热印头存储于电烤箱中，并分别于300℃、350℃、400℃、450℃、500℃、600℃保存1 h，然后用显微镜观察其表面是否有裂痕，用欧姆表测量其阻值变化。

2000年8月28日收稿

* 国家重点科技攻关项目

** 男 54岁 大学 副教授

2.2 震动实验

把热印头放到超声波发生器中,震动30 min,观察测量失效情况。

2.3 脉冲加热实验

在非打印条件下,通过连续脉冲加热检测 Ta₂N 电阻的变化。先分别在不保护膜、Ta₂O₅保护膜和不同厚度的 SiO₂保护膜的情况下进行 Ta₂N 电阻劣化程度的对比实验。信号脉冲宽度为7 ms,时钟频率为50 Hz,每隔30 min 将脉冲电压上调一个挡次,实验结果如图2所示。然后对有 SiO₂和 Ta₂O₅双层保护的热印头,在脉冲宽度7 ms、频率50 Hz、负载功率12 W·mm⁻²下进行热印头的寿命实验,即测试 Ta₂N 电阻随加热时间(或加脉冲次数)的变化情况。表1列出了24点薄膜热印头经过不同脉冲次数冲击后阻值的变化情况,测试曲线如图3所示。

表1 24点热印头在不同脉冲次数冲击下的阻值变化

热阻点	原阻值	1×10 ⁷	1×10 ⁸	5×10 ⁸	1×10 ⁹	热阻点	原阻	1×10 ⁷	1×10 ⁸	5×10 ⁸	1×10 ⁹
1	68	68	68	69	70	14	67	67	67	69	74
2	67	67	68	70	74	15	69	69	69	70	73
3	68	68	69	71	74	16	69	70	70	71	73
4	68	69	70	74	77	17	69	69	70	73	77
5	68	68	68	69	72	18	68	68	69	70	70
6	68	68	68	68	69	19	68	68	68	69	72
7	69	69	69	70	71	20	68	68	68	70	70
8	69	70	70	73	75	21	67	68	69	72	75
9	68	69	70	71	76	22	69	69	69	71	73
10	69	69	69	69	70	23	69	69	69	72	73
11	68	68	68	70	72	24	68	69	69	74	76
12	67	68	69	72	76	最大					
13	67	67	68	69	73	$\frac{\Delta R}{R}/(\%)$		1.5	2.8	8.9	16.4

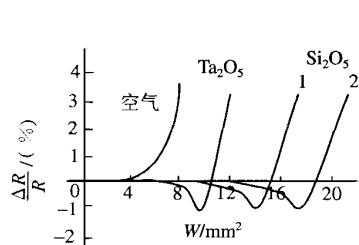


图2 不同保护条件下阻值劣化曲线

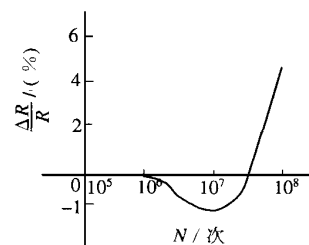


图3 电阻寿命曲线

在与上述实验相同的条件下,通过改变热脉冲宽度,如2 ms, 4 ms, 7 ms, …,检测热印头的失效情况,发现热脉冲宽度在小于4 ms 时热印头表面即可发生裂纹,造成热印头的早期失效,结果如图4所示。

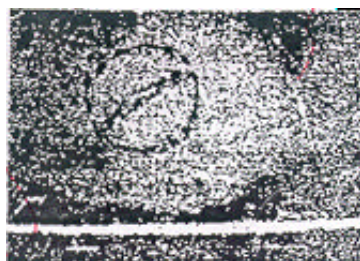


图4 窄脉冲下产生裂纹

2.4 磨损实验和实际打印

本文在自制设备上进行了加速度磨损实验,在打印头和热敏纸之间施加500 g·cm⁻²压力快速运动。另外,把热印头安装在 WC-2000中英文文字处理机上进行连续打印实验,打印的图形为“012345…ABCD…=↑↓→←※▼■□”等,打印速率为60字符/s。利用6JA干涉显微镜,DEKTAK3030表面轮廓仪检测 Ta₂O₅耐磨层的磨损情况,结

果如表2所示。

表2 Ta₂O₅保护膜耐磨实验

磨前厚度/ μm	行程/km	磨后厚度/ μm	磨损系数/ $\mu\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$
5	5	4.86	0.028
	10	4.73	0.027
	15	4.65	0.030

3 失效模式与寿命分析

根据热印头的结构和实验, 其失效模式可归纳为:

1) 破坏模式

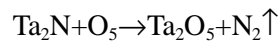
在热印头的各层中, 起隔热作用的玻化层采用烧结方法制成, 其软化温度为600~650℃。当热印头的贮存温度或打印温度超过或接近玻化层的软化温度时, 玻化层被破坏, 导致热印头破坏性失效。但热印头的正常打印温度通常在350℃左右, 对合格的打印头来说, 这种失效较少发生。

2) 断路模式

断路模式是由于接触原因所致, 由于震动造成热电阻和引线之间断开。这种模式的失效也较少出现。

3) 氧化模式

当热印头经过较长时间的脉冲加热, 其电阻的阻值逐渐变大, 甚至变成绝缘体。通常规定电阻值变化 $\Delta R/R > 10\%$ 时, 热印头失效。由脉冲加热实验可看出, 热印头电阻值变化与保护层的性质、厚度、脉冲加热功率、加热时间(即脉冲次数)、加热脉冲宽度有关。由无保护膜及不同保护膜的热印头脉冲加热对比实验可知, 在无保护膜的大气中, 在4 W·mm⁻²功率下, 电阻值开始变化; 在4 μm 厚的 Ta₂O₅膜保护下, 6 W·mm⁻²功率下, 阻值发生变化; 在1 μm 厚的 SiO₂膜保护下, 10 W·mm⁻²功率下, 阻值发生变化; 而在2 μm 厚的 SiO₂膜保护下, 在12 W·mm⁻²以上阻值才开始变化。实验证明, 电阻值变化是由于 Ta₂N 氧化引起的。在无膜保护情况下, Ta₂N 直接和空气中的氧或水汽接触, 在高温下氧化生成 Ta₂O₅, 使阻值增大



而 SiO₂膜致密性好, 可有效防止氧或水汽的侵入, 从而保护了 Ta₂N 电阻的氧化。保护膜越厚, 防氧化作用越强。但如果膜太厚, 由于应力作用容易产生裂纹, 因此 SiO₂厚度以2 μm 为宜。

由图3可看出, 随着脉冲加热时间的增加, 电阻值变化增大, 阻值变化与时间关系为

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^n = Dt \quad (1)$$

式中 R 为初始阻值; ΔR 为工作时间 $t(s)$ 时阻值的变化量; n 为常数; D 为下降率常量(s^{-1}), 其表达式为

$$D = A \exp(-E/kT) \quad (2)$$

式中 A 为频率因子(s^{-1}); E 为引起失效的激活能(eV); k 为波尔兹曼常数($8.62 \times 10^{-5} \text{eV} \cdot \text{K}^{-1}$), T 为绝对温度(K)。如果热印头的寿命 $L(s)$ 定义为电阻值增加10%所需时间, 则 $L(s)$ 为

$$L(s) = \left(\frac{1}{A}\right) 10^{-n} \exp(E/kT) \quad (3)$$

从式(3)可知, 使用寿命与激活能有关, 而激活能是由使用条件决定的。当使用脉冲宽度较大(如大于6 ms 时), 激活能量为1.3 eV, 这时以慢氧化失效为主, 使用寿命较长。当脉冲宽度较小(如小于

4 ms), 激活能为0.4 eV, 这时以快氧化失效为主, 又称裂缝产生模式。这是由于在窄脉冲加热作用下, 脉冲变化频繁, 造成热印头各层中的热膨胀系数不同而产生裂缝, 加速 Ta₂N 电阻的热氧化。

4) 磨损失效模式

热型打印机工作时, 热印头紧贴热敏纸运动, 它们之间的压力高达500 g·cm⁻², 摩擦力很大。当耐磨保护层磨损掉后, 热印头就会失效。Ta₂O₅是一种坚硬耐磨的保护层, 其磨损率小于0.05 μm·km⁻¹、5 μm 厚的 Ta₂O₅保护层, 可持续打印100 km。由于磨损而失效的原因与保护层的质量、厚度有关, 还与热敏纸的粗糙度有关。为了保证热印头有最大寿命, 应保证耐磨保护层寿命高于电阻失效的寿命。

4 结 论

热印头的失效模式主要有五种: 破坏模式、断路模式、氧化模式、裂纹模式和磨损模式。其中影响热印头寿命的主要是后三种模式, 是热印头能否广泛推广使用的关键。要提高热印头寿命, 应采取以下措施: 1) 控制热隔层的厚度, 这是热印头热特性的关键; 2) 选择合适的打印脉冲宽度、打印功率和打印速度; 3) 制作优良的保护层和耐磨层; 4) 选择优质的打印纸。

参 考 文 献

- 1 Shibata Sutumu, Murasugi Kaji, Kaminishi Katsuzo. New tape thermal printing head with thin film. IEEE Trans Parts, Hybrids, 1976, (3): 223~230
- 2 Tokunaga Yukio, Yoshida Mitesuyoshi, Kizawa Masayoshi. Life estimation of thermal print heads consisting of Ta₂N thinfilm resistors. IEEE Trans on Components, Hybrids, Manufacturing Technology, 1981, (1): 148~153

Degradation Causes and Life Estimation of Thermal Printing Heads

Zhang Shengcai Shen Yunqin Yao Suying

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University Tianjin 300072)

Abstract Long lifetime is a base for thermal printing heads to be applied widely. Experiments on these thermal printing heads include high temperature storage tests, shaking tests, pulse-heat tests, and actual thermal printing tests. From the experiments, five degradation modes of thermal printing heads are summarized. The degradation reasons for the five modes are analyzed and the means of increasing the lifetime of thermal printing heads are demonstrated.

Key words thin film thermal printing head; thermal printers; degradation causes; lifetime